



TITLE:

STUDIES ON SHOCK-WAVE
STRUCTURE IN A
NONEQUILIBRIUM, PARTIALLY
IONIZED GAS FLOW(Abstract_要旨
)

AUTHOR(S):

Nishida, Michio

CITATION:

Nishida, Michio. STUDIES ON SHOCK-WAVE STRUCTURE IN A NONEQUILIBRIUM,
PARTIALLY IONIZED GAS FLOW. 京都大学, 1969, 工学博士

ISSUE DATE:

1969-11-24

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/213239>

RIGHT:

氏 名	西 田 迪 雄
	にし だ みち お
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 180 号
学 位 授 与 の 日 付	昭 和 44 年 11 月 24 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 航 空 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	STUDIES ON SHOCK-WAVE STRUCTURE IN A NONEQUILIBRIUM, PARTIALLY IONIZED GAS FLOW (一部電離した非平衡気体流れの衝撃波構造に関する研究)

(主 査)
論文調査委員 教授 神元五郎 教授 玉田 珧 教授 桜井健郎

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、一部電離した非平衡気体の超音速流れにおける衝撃波構造について理論的解析ならびに実験的研究をおこなったものであって、緒言、四章および結論からなっている。

緒言においては、本研究の目的と従来行なわれてきた電離気体の衝撃波構造についての研究を展望している。

第一章においては、実験に使用した電弧加熱型低密度プラズマ・ジェット風洞の構造および空気力学的性能について述べ、殊にプラズマ・ジェット流の空気力学的、熱力学的性質についての測定結果を明らかにしている。気体としてはアルゴンおよび窒素を用い、電弧加熱されたこれらの気体の岐点圧力、岐点温度、ピトー圧力および流れのマッハ数などをそれぞれプレナム室および測定室において測定して、その測定結果からマッハ数—レイノルズ数特性を求め、本風洞測定数におけるプラズマ・ジェット流は空気力学的に遷移領域にあることを示している。

第二章においては、上記の風洞測定室のアルゴン・プラズマ流において探針法およびマイクロ波干渉法による診断をおこない、気流中の電子温度、電子密度をもとめ、さらに二電極法およびトランジェーサー法によるアルゴン・プラズマ流の導電率を測定し、また電磁速度計を用いてプラズマ流の速度を測定した結果について述べている。

先ず、ラングミュア平面単探針の捕集面を流れに平行におくことにより、イオン捕集におよぼす流速の影響を取り除き、アルゴン・プラズマ流中における電子密度、電子温度を測定し、測定気流中のこれらの半径方向、軸方向分布を明らかにした。さらにこの探針測定の結果はマイクロ波干渉法による測定によって測定された電子密度と同じオーダーであることを確認し、この研究における探針測定の結果は十分信頼できることを示した。これらの測定結果と第一章の風洞性能実験から得た中性アルゴン粒子の密度との比較から、電離度が 10^{-3} 程度の一部電離したアルゴン流であり、また電子温度が中性粒子温度より高いことから、このプラズマ流は非平衡流れであることを示している。

次に、二電極板法およびトランジューサー法によるアルゴン・プラズマ流の導電率を測定し、それぞれの測定結果は、0.6 mho/cm の程度で、両者はよく一致していることを明らかにし、さらに本研究の究極の目的である衝撃波構造の測定のために、プラズマ流に直角に印加した磁場中に複探針を置いて、探針間電位差から流速を測定する、いわゆる電磁速度計を用い、プラズマ流の速度は1.5~2km/sec の程度であることを示し、この印加磁場の非一様性が流速の測定結果におよぼす影響についても理論的考察をおこなっている。

第三章においては、一部電離した非平衡気流中の衝撃波構造に関する理論的解析について述べている。

先ず、衝撃波を横切る電子温度分布について、凍結流の仮定の下に中性粒子密度、温度分布をヘビサイド関数を用いて階段状分布におきかえ、電子についてのエネルギー方程式を単純化し、この式を衝撃波無限上流および下流より積分し、中性粒子衝撃波の中心で両方の解をマッチングさせることにより電子温度分布を計算した。一方電子エネルギー方程式を直接ルンゲ・クッター・マーソン法(R-K-M法)により積分して計算した電子温度分布と比較し、両者の結果が完全に一致することを示した。さらに、プラズマ流れにおいて二段階三体再結合反応を仮定して、サハ方程式と電離速度方程式から再結合速度係数を求め、電子エネルギー方程式をR-K-M法により積分して、再結合プラズマ流れの仮定の下に電子温度分布をもとめている。

第二に、衝撃波後流におけるイオン密度がランキン・ウゴニオ関係式で与えられる値まで増加しないという観測結果を理論的に解析している。衝撃波を横切って流れの方向にイオン密度減衰が起こっているので、一様流れ中のイオン密度減衰速度をもとめ、これをイオンの連続方程式に用いて、衝撃波を横切るイオン密度分布を与える計算式を示している。

第三に、衝撃波を横切る中性粒子とイオンとの密度分布、温度分布の差を明らかにするために、B-G-K方程式および bimodal distribution function を用いてイオンの密度分布と温度分布を計算した。これらの分布曲線は Mott-Smith 解で与えられる中性粒子の分布曲線に対して上流側にずれているが、そのずれの距離は中性粒子衝撃波厚みに対して最大10%であり、実験的にはイオン衝撃波は中性粒子衝撃波で表わしても差支えないことを明らかにしている。

最後に、衝撃波を横切る荷電粒子の流れに電磁速度計を応用した場合の特性について理論解析をおこなっている。この場合には衝撃波前後で速流が異なるために渦電流が発生し、複探針間に誘起される電位勾配分布は速度分布を与えないで、渦電流による修正を施す必要のあることを理論的に明らかにし、計算の結果プラズマ・ジェット流の半径に比べて衝撃波厚みが小さい程、誘起電位勾配分布におよぼす渦電流の影響が大きくなることを見出している。

第四章においては、一部電離した非平衡高速気流中の衝撃波構造を低密度プラズマ・ジェット風洞において単探針および電磁速度計を用いておこなった実験結果を述べ、第三章における理論計算の結果と比較している。プラズマ・ジェット風洞測定部においたショック・ホルダーにより衝撃波をその前方に定在させ、衝撃波を横切って単探針によりアルゴン・プラズマ流内の電子温度分布、イオン密度分布を測定し、また電磁速度計により誘起電位勾配分布を測定している。

先ず、測定された電子温度分布は衝撃波を横切ってほとんど変化しないが、この実験結果は、凍結流れ

を仮定した理論結果よりも、再結合反応を仮定した場合の理論結果とよく一致することを示している。

第二に、イオン密度分布の測定結果では、衝撃波後流のイオン密度がランキン・ウゴニオ関係式で与えられる値まで増加しないことが観測され、一様なプラズマ流中で測定された流れの方向のイオン密度減衰速度を用いて、イオンの連続の式から導かれた理論イオン密度分布とよく一致することを見出している。

第三に、衝撃波を横切を誘起電位勾配分布の測定結果は、衝撃波を横切る中性粒子速度分布でイオン速度分布をおきかえて計算した理論結果とよく一致することを示している。

結論は以上の総括である。

論文審査の結果の要旨

ロケット観測によると、電離層では電子温度が中性粒子温度に比べて著しく高く、イオン密度は中性粒子密度より小さいことが判っている。したがって電離層における気体力学的な問題をとり扱うには、一部電離した非電離した非平衡気体を考えなければならない。従来完全電離気体の衝撃波構造についての研究はかなりおこなわれているが、一部電離した気体については、特に非平衡状態を考慮した場合の研究は極めて少ない現状である。

本論文はこのような一部電離した非平衡高速流中に発生する衝撃波構造について理論的、実験的研究をおこなったもので、特に注目すべき成果を挙げると次のようである。

まず、本研究に用いた電弧加熱型低密度プラズマ・ジェット風洞のマッハ数—レイノルズ数特性からこの風洞の実験可能領域は空気力学的に遷移領域にあり、測定室における単探針法などの診断結果から、アルゴンを作動気体とした場合、一部電離した非平衡高速気流の実験が可能であることを明らかにした。

以上の実験結果から、アルゴン・プラズマ流の全体の性質は中性粒子の挙動に支配され、中性粒子の挙動は荷電粒子の存在に影響されないことを見出した。よって中性粒子および荷電粒子についてそれぞれ保存方程式を連立させることなく、単成分気体で得られている中性粒子に対する解を用いることにより、荷電粒子の保存方程式のみから解析できることを示した。

この仮定の下に、電子についてのエネルギー方程式を解析し、凍結流および再結合流の場合について衝撃波を横切る電子温度分布を計算した。計算の結果、電子の高い熱伝導率に起因する、衝撃波上流での広い電子温度上昇領域が見出された。なお上記の風洞実験条件におこなった理論計算の結果は、衝撃波を横切る電子温度分布の単探針法による測定結果と一致し、電子温度は衝撃波を横切ってほとんど変化しないことを示した。

次に、アルゴン・プラズマ流におけるイオン密度減衰速度を用いて、イオンについての連続方程式から求めたイオン密度の流れ方向の理論分布は、ランキン・ウゴニオの関係で与えられる、衝撃波下流における値までイオン密度が増加しないことを示し、その分布は風洞実験結果とよく一致することを明らかにした。

以上電子温度、イオン密度の解析においては、衝撃波を通じて中性粒とイオンとの温度、速度分布が等しいと仮定しているが、イオンについてB—G—K方程式とbimodal distribution functionとを用いて衝撃波を横切る温度、密度分布を理論的に解析し、これと中性粒子についての理論分布とを比較して、

この仮定がほぼ成立つことを示した。

最後に、衝撃波を横切る荷電粒子の速度分布を断面円形のプラズマ流内で測定する場合の電磁速度計の原理を理論解析し、速度計に誘起される電位勾配分布におよぼす渦電流の影響を明らかにした。この速度計による測定結果から、荷電粒子は衝撃波を通じてランキン・ウゴニオの関係式で与えられる速度に減速し、その速度分布は衝撃波内の中性粒子速度分布に近いことを示した。

以上要するに、一部電離した非平衡高速流れにおける衝撃波構造を空気力学的に解析し、同時に多くの診断法によってその性質を明らかにし、電離層における今後の空気力学的研究に示唆を与え、とくに衝撃波構造に関して多くの知見を与えたものであって、学術上は勿論実際上にも寄与することが多い。

よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。